

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/002185

International filing date: 08 February 2005 (08.02.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP  
Number: 2004-037514  
Filing date: 13 February 2004 (13.02.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 24 March 2005 (24.03.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

08. 2. 2005

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日                      2 0 0 4 年    2 月 1 3 日  
Date of Application:

出 願 番 号                      特 願 2 0 0 4 - 0 3 7 5 1 4  
Application Number:  
[ST. 10/C]:                      [ J P 2 0 0 4 - 0 3 7 5 1 4 ]

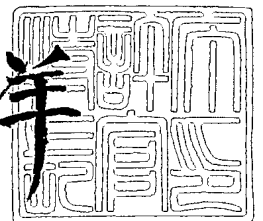
出      願      人                      独立行政法人科学技術振興機構  
Applicant(s):

2 0 0 5 年    3 月 1 0 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川

洋



【書類名】 特許願  
【整理番号】 P2396JST  
【提出日】 平成16年 2月13日  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 H01L 43/08  
H01L 43/10

【発明者】  
【住所又は居所】 宮城県名取市手倉田字堰根 1 7 2 - 1 5  
【氏名】 貝沼 亮介

【発明者】  
【住所又は居所】 宮城県仙台市青葉区栗生 1 - 7 - 1 2  
【氏名】 猪俣 浩一郎

【発明者】  
【住所又は居所】 宮城県仙台市青葉区上杉 3 - 5 - 2 0  
【氏名】 石田 清仁

【特許出願人】  
【識別番号】 503360115  
【氏名又は名称】 独立行政法人科学技術振興機構

【代理人】  
【識別番号】 100082876  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 平山 一幸  
【電話番号】 03-3352-1808

【選任した代理人】  
【識別番号】 100069958  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 海津 保三

【手数料の表示】  
【予納台帳番号】 031727  
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】  
【物件名】 特許請求の範囲 1  
【物件名】 明細書 1  
【物件名】 図面 1  
【物件名】 要約書 1  
【包括委任状番号】 0316160

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

基板と該基板上に形成される  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜と、を備え、  
上記  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜は  $\text{L}2_1$  または  $\text{B}2$  単相構造を有し、  
上記薄膜の  $\text{M}$  は  $\text{Ti}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{W}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Fe}$  の中の 1 種または 2 種以上からなり、

該  $\text{M}$  中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$  であることを特徴とする、磁性薄膜。

**【請求項 2】**

前記基板を無加熱を含む  $500^\circ\text{C}$  以下の温度で加熱し前記  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜を成膜するか、またはこの成膜した薄膜をさらに  $500^\circ\text{C}$  以下の温度で熱処理したことを特徴とする、請求項 1 に記載の磁性薄膜。

**【請求項 3】**

前記基板が、熱酸化  $\text{Si}$ 、ガラス、 $\text{MgO}$  単結晶、 $\text{GaAs}$  単結晶、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  単結晶の何れか一つであることを特徴とする、請求項 1 又は 2 に記載の磁性薄膜。

**【請求項 4】**

前記基板と前記  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜の間にバッファ層が配設されていることを特徴とする、請求項 1～3 の何れかに記載の磁性薄膜。

**【請求項 5】**

前記バッファ層が、 $\text{Al}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Ta}$ ,  $\text{NiFe}$  のうちの少なくとも一つから成ることを特徴とする、請求項 4 に記載の磁性薄膜。

**【請求項 6】**

基板上に複数の強磁性層を有するトンネル磁気抵抗効果素子において、少なくとも一方の強磁性層が、 $\text{L}2_1$  または  $\text{B}2$  単相構造を有する  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、 $\text{M}$  は  $\text{Ti}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{W}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Fe}$  の中の 1 種または 2 種以上からなり、 $\text{M}$  中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 磁性薄膜でなることを特徴とする、トンネル磁気抵抗効果素子。

**【請求項 7】**

前記強磁性層が、固定層とフリー層とで成り、該フリー層が  $\text{L}2_1$  または  $\text{B}2$  単相構造を有する  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、 $\text{M}$  は  $\text{Ti}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{W}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Fe}$  の中の 1 種または 2 種以上からなり、 $\text{M}$  中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 磁性薄膜でなることを特徴とする、請求項 6 に記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

**【請求項 8】**

前記基板を無加熱を含む  $500^\circ\text{C}$  以下の温度で加熱し前記  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜を成膜するか、またはこの成膜した薄膜をさらに  $500^\circ\text{C}$  以下の温度で熱処理したことを特徴とする、請求項 6 又は 7 に記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

**【請求項 9】**

前記基板と前記  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、 $\text{M}$  は  $\text{Ti}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{W}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Fe}$  の中の 1 種または 2 種以上からなり、 $\text{M}$  中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) との間にバッファ層が配設されていることを特徴とする、請求項 6～8 の何れかに記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

**【請求項 10】**

前記基板が、熱酸化  $\text{Si}$ 、ガラス、 $\text{MgO}$  単結晶、 $\text{GaAs}$  単結晶、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  単結晶の何れか一つであることを特徴とする、請求項 9 に記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

**【請求項 11】**

前記バッファ層が、 $\text{Al}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Ta}$ ,  $\text{NiFe}$  のうちの少なくとも一つから成ることを特徴とする、請求項 9 に記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

**【請求項 12】**

基板上に複数の強磁性層を有する巨大磁気抵抗効果素子において、少なくとも一方の強磁性層が、 $L2_1$  または  $B2$  単相構造を有する  $Co_2MGa_{1-x}Al_x$  (ここで、 $M$ は  $Ti$ ,  $V$ ,  $Mo$ ,  $W$ ,  $Cr$ ,  $Mn$ ,  $Fe$  の中の1種または2種以上からなり、 $M$ 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 磁性薄膜で成り、膜面垂直方向に電流が流れる構造としたことを特徴とする、巨大磁気抵抗効果素子。

【請求項13】

前記強磁性層が、固定層とフリー層とで成り、該フリー層が  $L2_1$ ,  $B2$ ,  $A2$  構造の何れか一つの構造を有する  $Co_2MGa_{1-x}Al_x$  (ここで、 $M$ は  $Ti$ ,  $V$ ,  $Mo$ ,  $W$ ,  $Cr$ ,  $Mn$ ,  $Fe$  の中の1種または2種以上からなり、 $M$ 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 磁性薄膜でなることを特徴とする、請求項12に記載の巨大磁気抵抗効果素子。

【請求項14】

前記基板を無加熱を含む  $500^\circ\text{C}$  以下の温度で加熱し前記  $Co_2MGa_{1-x}Al_x$  薄膜を成膜するか、またはこの成膜した薄膜をさらに  $500^\circ\text{C}$  以下の温度で熱処理したことを特徴とする、請求項12または13に記載の巨大磁気抵抗効果素子。

【請求項15】

前記基板と前記  $Co_2MGa_{1-x}Al_x$  (ここで、 $M$ は  $Ti$ ,  $V$ ,  $Mo$ ,  $W$ ,  $Cr$ ,  $Mn$ ,  $Fe$  の中の1種または2種以上からなり、 $M$ 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 薄膜との間にバッファ層が配設されていることを特徴とする、請求項12～14の何れかに記載の巨大磁気抵抗効果素子。

【請求項16】

前記基板が、熱酸化  $Si$ , ガラス,  $MgO$  単結晶,  $GaAs$  単結晶,  $Al_2O_3$  単結晶の何れか一つであることを特徴とする、請求項12～15の何れかに記載の巨大磁気抵抗効果素子。

【請求項17】

前記バッファ層が、 $Al$ ,  $Cu$ ,  $Cr$ ,  $Fe$ ,  $Nb$ ,  $Ni$ ,  $Ta$ ,  $NiFe$  のうちの少なくとも一つから成ることを特徴とする、請求項15に記載の巨大磁気抵抗効果素子。

【請求項18】

$L2_1$  または  $B2$  単相構造を有する  $Co_2MGa_{1-x}Al_x$  (ここで、 $M$ は  $Ti$ ,  $V$ ,  $Mo$ ,  $W$ ,  $Cr$ ,  $Mn$ ,  $Fe$  の中の1種または2種以上からなり、 $M$ 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 磁性薄膜が基板上に形成されてなることを特徴とする、磁気デバイス。

【請求項19】

フリー層が前記  $Co_2MGa_{1-x}Al_x$  (ここで、 $M$ は  $Ti$ ,  $V$ ,  $Mo$ ,  $W$ ,  $Cr$ ,  $Mn$ ,  $Fe$  の中の1種または2種以上からなり、 $M$ 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 磁性薄膜で成るトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いたことを特徴とする、請求項18に記載の磁気デバイス。

【請求項20】

前記基板を無加熱を含む  $500^\circ\text{C}$  以下の温度で加熱し前記  $Co_2MGa_{1-x}Al_x$  薄膜を成膜するか、またはこの成膜した薄膜をさらに  $500^\circ\text{C}$  以下の温度で熱処理したことにより作製されたトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いたことを特徴とする、請求項18または19に記載の磁気デバイス。

【請求項21】

前記基板と前記  $Co_2MGa_{1-x}Al_x$  (ここで、 $M$ は  $Ti$ ,  $V$ ,  $Mo$ ,  $W$ ,  $Cr$ ,  $Mn$ ,  $Fe$  の中の1種または2種以上からなり、 $M$ 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 薄膜との間にバッファ層が配設されたトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いたことを特徴とする、請求項18～20の何れかに記載の磁気デバイス。

【請求項22】

前記基板が、熱酸化  $Si$ , ガラス,  $MgO$  単結晶,  $GaAs$  単結晶,  $Al_2O_3$  単結晶

の何れか一つであるトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いたことを特徴とする、請求項 18～21 の何れかに記載の磁気デバイス。

【請求項 23】

前記バッファ層が、Al, Cu, Cr, Fe, Nb, Ni, Ta, NiFe のうちの少なくとも一つから成るトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いたことを特徴とする、請求項 21 に記載の磁気デバイス。

【請求項 24】

$\text{L}_{21}$  または  $\text{B}_2$  単相構造を有する  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、M は Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe の中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 磁性薄膜が基板上に形成されてなることを特徴とする、磁気ヘッド及び磁気記録装置。

【請求項 25】

フリー層が前記  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、M は Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe の中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 磁性薄膜で成るトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いたことを特徴とする、請求項 24 に記載の磁気ヘッド及び磁気記録装置。

【請求項 26】

前記基板を無加熱を含む  $500^\circ\text{C}$  以下の温度で加熱し前記  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜を成膜するか、またはこの成膜した薄膜をさらに  $500^\circ\text{C}$  以下の温度で熱処理して作製されたトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いたことを特徴とする、請求項 24 または 25 に記載の磁気ヘッド及び磁気記録装置。

【請求項 27】

前記基板と前記  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、M は Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe の中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 薄膜との間にバッファ層が配設されたトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いたことを特徴とする、請求項 24～26 の何れかに記載の磁気ヘッド及び磁気記録装置。

【請求項 28】

前記基板が、熱酸化 Si, ガラス, MgO 単結晶, GaAs 単結晶,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  単結晶の何れか一つであるトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いたことを特徴とする、請求項 24～27 の何れかに記載の磁気ヘッド及び磁気記録装置。

【請求項 29】

前記バッファ層が、Al, Cu, Cr, Fe, Nb, Ni, Ta, NiFe のうちの少なくとも一つから成るトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いたことを特徴とする、請求項 27 に記載の磁気ヘッド及び磁気記録装置。

【書類名】明細書

【発明の名称】磁性薄膜及びそれを用いた磁気抵抗効果素子並びに磁気デバイス

【技術分野】

【0001】

本発明は、スピン分極率の大きい磁性薄膜及びそれを用いた磁気抵抗効果素子並びに磁気デバイスに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、強磁性層／非磁性金属層の多層膜からなる巨大磁気抵抗（GMR）効果素子、及び強磁性層／絶縁体層／強磁性層からなるトンネル磁気抵抗効果素子や強磁性スピントンネル接合（MTJ）素子が、新しい磁界センサーや不揮発性ランダムアクセス磁気メモリ（MRAM）素子として注目されている。

巨大磁気抵抗効果素子には、膜面内に電流を流すタイプのCIP（Current In Plane）構造の巨大磁気抵抗効果素子と、膜面垂直方向に電流を流すタイプのCPP（Current Perpendicular to the Plane）構造の巨大磁気抵抗効果素子が知られている。巨大磁気抵抗効果素子の原理は磁性層と非磁性層の界面におけるスピン依存散乱にあり、一般に、CPP構造の巨大磁気抵抗効果素子の方がCIP構造の巨大磁気抵抗効果素子よりもGMRが大きい。

【0003】

このような巨大磁気抵抗効果素子は、強磁性層の一方に反強磁性層を近接させて強磁性層のスピンを固定させるスピバルブ型が用いられている。CPP構造のスピバルブ型巨大磁気抵抗効果素子の場合、反強磁性層の電気抵抗率が $200\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 程度とGMR膜に比べて2桁程度大きいため、GMR効果が薄められ、スピバルブ型のCPP構造の巨大磁気抵抗効果素子の磁気抵抗の値は1%以下と小さい。そのため、CIP構造の巨大磁気抵抗効果素子はすでにハードディスクの再生ヘッドに実用化されているものの、CPP構造の巨大磁気抵抗効果素子はまだ実用にいたっていない。

【0004】

一方、トンネル磁気抵抗効果素子やMTJでは、外部磁界によって2つの強磁性層の磁化を互いに平行あるいは反平行に制御することにより、膜面垂直方向のトンネル電流の大きさが互いに異なる、いわゆるトンネル磁気抵抗（TMR）効果が室温で得られる（非特許文献1参照）。このTMRは、用いる強磁性体と絶縁体との界面におけるスピン分極率Pに依存し、二つの強磁性体のスピン分極率をそれぞれ $P_1$ 、 $P_2$ とすると、一般に下記（1）式で与えられることが知られている。

【0005】

$$\text{TMR} = 2 P_1 P_2 / (1 - P_1 P_2) \quad (1)$$

ここで、強磁性体のスピン分極率Pは $0 < P \leq 1$ の値をとる。

【0006】

現在、得られている室温における最大のTMRは $P \sim 0.5$ のCoFe合金を用いた場合の約50パーセントである。

【0007】

TMR素子は現在、ハードディスク用磁気ヘッド及び不揮発性ランダムアクセス磁気メモリ（MRAM）への応用が期待されている。MRAMでは、MTJ素子をマトリックス状に配置し、別に設けた配線に電流を流して磁界を印加することで、各MTJ素子を構成する二つの磁性層を互いに平行、反平行に制御することにより、“1”，“0”を記録させる。読み出しは、TMR効果を利用して行う。しかし、MRAMでは高密度化のために素子サイズを小さくすると、素子のバラツキに伴うノイズが増大し、TMRの値が現状では不足するという問題がある。したがって、より大きなTMRを示す素子の開発が必要である。

【0008】

上記（1）式からわかるように、 $P = 1$ の磁性体を用いると無限に大きなTMRが期待

される。P = 1 の磁性体はハーフメタルと呼ばれる。

これまで、バンド構造計算によって、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ,  $\text{CrO}_2$  ,  $(\text{La-Sr})\text{MnO}_3$  ,  $\text{Th}_2\text{MnO}_7$  ,  $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_6$  などの酸化物、 $\text{NiMnSb}$  などのハーフホイスラー合金、及び  $\text{Co}_2\text{MnGe}$  ,  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  ,  $\text{Co}_2\text{CrAl}$  などの  $\text{L}_{21}$  構造をもつフルホイスラー合金などがハーフメタルとして知られている。例えば、 $\text{Co}_2\text{MnGe}$  などの従来の  $\text{L}_{21}$  構造を有するフルホイスラー合金は基板を  $300^\circ\text{C}$  程度に加熱し、さらに、その膜厚を通常  $25\text{ nm}$  以上にして作製できることが報告されている（非特許文献 2 参照）。

#### 【0009】

最近、ハーフメタルの  $\text{Co}_2\text{CrAl}$  の構成元素である  $\text{Cr}$  の一部を  $\text{Fe}$  で置換した  $\text{Co}_2\text{Fe}_{0.4}\text{Cr}_{0.6}\text{Al}$  も、バンド構造の理論計算によれば、 $\text{L}_{21}$  型のハーフメタルであることが報告された（非特許文献 3 参照）。また、その薄膜を用いたトンネル接合が作製され、室温で  $16\%$  程度の TMR が報告されている（非特許文献 4 参照）。

#### 【0010】

最近、ホイスラー化合物の磁化特性やハーフメタル特性において、構成元素の総価電子 Z によりそれらの特性をまとめられることが報告された（非特許文献 5）。

#### 【0011】

【非特許文献 1】 T. Miyazaki and N. Tezuka, "Spin polarized tunneling in ferromagnet/insulator/ferromagnet junctions", 1995, J. Magn. Mater., L39, p.1231

【非特許文献 2】 T. Ambrose, J. J. Crebs and G. A. Prinz, "Magnetic properties of single crystal  $\text{Co}_2\text{MnGe}$  Heusler alloy films", 2000, Appl. Phys. Lett., Vol.87, p.5463

【非特許文献 3】 T. Block, C. Felser, and J. Windeln, "Spin Polarized Tunneling at Room Temperature in a Heusler Compound—a non-oxide Materials with a Large Negative Magnetoresistance Effect in Low Magnetic Fields", April 28, 2002, Intermag Digest, EE01

【非特許文献 4】 K. Inomata, S. Okamura, R. Goto and N. Tezuka, "Large tunneling magnetoresistance at room temperature using a Heusler alloy with  $\text{B}_2$  structure", 2003, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.42, PL419

【非特許文献 5】 I. Galanakis and P. H. Dederichs, "Slater-Pauling behavior and origin of the half-metallicity of the full-Heusler alloys", 2002, The American Physical Society, PHYSICAL REVIEW B, Vol.66, pp.174429-1-174429-9

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0012】

従来のハードディスクの再生ヘッドに実用化されている  $\text{CIP}$  構造の巨大磁気抵抗効果素子においては、高記録密度に向け微細化が進められているが、素子の微細化に伴い信号電圧の不足が予測されており、 $\text{CIP}$  構造の巨大磁気抵抗効果素子の代わりに  $\text{CPP}$  構造の巨大磁気抵抗効果素子の高性能化が要求されているが、未だ実現されていない。

#### 【0013】

上記のハーフメタルの  $\text{Co}_2\text{CrAl}$  を除き、ハーフメタル薄膜が作製されているが、基板を  $300^\circ\text{C}$  以上に加熱するか、または室温で成膜後  $300^\circ\text{C}$  以上の温度で熱処理することが必要である。しかし、これまでに作製された薄膜がハーフメタルであったという報告はない。そして、これらのハーフメタルを用いたトンネル接合素子の作製も一部試みられているが、いずれも室温の TMR は期待に反して小さく、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$  を用いた場合の精々  $10\%$  数%が最大であった。

このように、従来のハーフメタル薄膜はその構造を得るために基板加熱や熱処理を必要としており、それによって表面のラフネスが増大したり、または酸化したりすることも大きな TMR が得られない原因の一つと考えられている。

一方、薄膜ではバルク材料と異なり、表面においてはハーフメタル特性を示さない可能性があること、また、ハーフメタル特性は組成や原子配列の規則度に敏感であり、特にトンネル接合では、その界面においてハーフメタルの電子状態を得るのが困難であることも、大きなTMRが得られない原因と推定される。

以上のことから、ハーフメタル薄膜の作製が実際には非常に困難で、各種の磁気抵抗効果素子に使用できる良好なハーフメタル薄膜が得られていないという課題がある。

#### 【0014】

バンド構造の理論計算でハーフメタルであることが予測されている、 $\text{Co}_2\text{Fe}_{0.4}\text{Cr}_{0.6}\text{Al}$  薄膜及びこの薄膜を用いたトンネル接合が作製され、TMRが得られている。

しかしながら、 $x=0$ である $\text{Co}_2\text{CrAl}$ 側では、B2構造の $\text{CoAl}$ 化合物が極めて安定なために、B2構造である $\text{CoAl}$ とA2構造である $\text{CoCr}$ との2相分離が生じやすく、ハーフメタル特性が期待される $\text{Co}_2\text{Fe}_{0.4}\text{Cr}_{0.6}\text{Al}$ 薄膜のような単一相の合金が得られにくいという課題がある。

#### 【0015】

本発明は、上記課題に鑑み、スピン分極率の大きい磁性薄膜及びそれを用いた磁気抵抗効果素子並びに磁気デバイスを提供することを目的としている。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0016】

本発明者らは、GaはAlと等しい価電子を有する元素であり、 $\text{CoGa}$ は、 $\text{CoAl}$ ほど安定ではないことを考慮して、 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜を作製した結果、この膜は室温で強磁性であり、かつ、基板を無加熱、または $500^\circ\text{C}$ 以下の温度で成膜したり、さらにこの薄膜を $500^\circ\text{C}$ 以下の温度で熱処理することにより、L2<sub>1</sub> またはB2単相構造を作製できることを見出し、本発明を完成するに至った。

#### 【0017】

上記目的を達成するため、本発明の磁性薄膜は、基板と基板上に形成される $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜と、を備え、 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜はL2<sub>1</sub> またはB2単相構造を有し、薄膜のMはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ であることを特徴とする。

上記構成において、好ましくは、基板を無加熱を含む $500^\circ\text{C}$ 以下の温度で加熱し前記 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜を成膜するか、またはこの成膜した薄膜をさらに $500^\circ\text{C}$ 以下の温度で熱処理する。上記基板は、熱酸化Si, ガラス, MgO単結晶, GaAs単結晶,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  単結晶の何れか一つであればよい。また、基板と $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜の間にバッファ層が配設されていてもよい。このバッファ層としては、Al, Cu, Cr, Fe, Nb, Ni, Ta, NiFeのうちの少なくとも一つを用いることができる。

#### 【0018】

この構成によれば、室温において、強磁性であり、スピン分極率の大きいハーフメタルである $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 磁性薄膜 (以下、適宜 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  ( $0 \leq x \leq 0.7$ ) 磁性薄膜または単に $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜と呼ぶ) を得ることができる。

#### 【0019】

また、本発明のトンネル磁気抵抗効果素子は、基板上に複数の強磁性層を有するトンネル磁気抵抗効果素子において、少なくとも一方の強磁性層が、L2<sub>1</sub> またはB2単相構造を有する $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 磁性薄膜でなることを特徴とする。

上記構成において、好ましくは、強磁性層が、固定層とフリー層とで成り、フリー層はL2<sub>1</sub> またはB2単相構造を有する $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  磁性薄膜である。また、前記

基板を無加熱を含む500℃以下の温度で加熱し $\text{Co}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜を成膜するか、またはこの成膜した薄膜をさらに500℃以下の温度で熱処理すればよい。この場合、基板としては、熱酸化Si、ガラス、MgO単結晶、GaAs単結晶、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  単結晶の何れか一つであればよい。また、基板と $\text{Co}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜との間にバッファ層が配設されていてもよい。このバッファ層は、Al、Cu、Cr、Fe、Nb、Ni、Ta、NiFeのうちの少なくとも一つで構成されることができる。

#### 【0020】

上記構成によれば、室温において、低外部磁界でTMRの大きいトンネル磁気抵抗効果素子を得ることができる。

#### 【0021】

また、本発明の巨大磁気抵抗効果素子は、基板上に複数の強磁性層を有する巨大磁気抵抗効果素子において、少なくとも一方の強磁性層が、 $L2_1$  またはB2単相構造を有する $\text{Co}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはTi、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）磁性薄膜で成り、膜面垂直方向に電流が流れる構造としたことを特徴とする。

前記強磁性層は、固定層とフリー層とで成り、フリー層が $L2_1$  またはB2単相構造を有する $\text{Co}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Al}_x$ （ $0 \leq x \leq 0.7$ ）磁性薄膜でなることが好ましい。上記基板を無加熱を含む500℃以下の温度で加熱し $\text{Co}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜を成膜するか、またはこの成膜した薄膜をさらに500℃以下の温度で熱処理してもよい。基板と $\text{Co}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜の間にバッファ層を配設するようにしてもよい。基板としては、熱酸化Si、ガラス、MgO単結晶、GaAs単結晶、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  単結晶の何れか一つであればよい。また、バッファ層は、Al、Cu、Cr、Fe、Nb、Ni、Ta、NiFeのうちの少なくとも一つで構成することができる。

#### 【0022】

上記構成によれば、室温において、低外部磁界でGMRの大きい巨大磁気抵抗効果素子を得ることができる。

#### 【0023】

また、本発明の磁気デバイスは、 $L2_1$  またはB2単相構造を有する $\text{Co}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはTi、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）磁性薄膜が基板上に形成されてなることを特徴とする。この場合、フリー層が上記 $\text{Co}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Al}_x$ （ $0 \leq x \leq 0.7$ ）磁性薄膜から成るトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いればよい。

好ましくは、トンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子が基板を無加熱を含む500℃以下の温度で加熱し $\text{Co}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜を成膜するか、またはこの成膜した薄膜をさらに500℃以下の温度で熱処理して作製されている。

また、基板と $\text{Co}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Al}_x$ （ $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜との間に、バッファ層が配設されたトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いることができる。前記基板が、熱酸化Si、ガラス、MgO単結晶、GaAs単結晶、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  単結晶の何れか一つであるトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いることができる。バッファ層として、Al、Cu、Cr、Fe、Nb、Ni、Ta、NiFeのうちの少なくとも一つを用いたトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いればよい。

#### 【0024】

上記構成によれば、室温において、低外部磁界でTMRやGMRの大きい磁気抵抗効果素子を用いた磁気デバイスを得ることができる。

#### 【0025】

また、本発明の磁気ヘッド及び磁気記録装置は、 $L2_1$  またはB2単相構造を有する $\text{Co}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはTi、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの中の1種

または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度 $Z$ が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ )磁性薄膜が基板上に形成されてなることを特徴とする。

上記構成において、好ましくは、フリー層が前記 $\text{Co}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、 $0 \leq x \leq 0.7$ )磁性薄膜であるトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いる。基板を無加熱を含む $500^\circ\text{C}$ 以下の温度で加熱し $\text{Co}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Al}_x$ 薄膜を成膜するか、またはこの成膜した薄膜をさらに $500^\circ\text{C}$ 以下の温度で熱処理して作製されたトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いてもよい。

また、基板と $\text{Co}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Al}_x$ 薄膜との間にバッファ層が配設されたトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いてもよい。また、基板が、熱酸化Si、ガラス、MgO単結晶、GaAs単結晶、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 単結晶の何れか一つであるトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いることもできる。さらに、バッファ層が、Al、Cu、Cr、Fe、Nb、Ni、Ta、NiFeのうちの少なくとも一つから成るトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いてもよい。

#### 【0026】

上記構成によれば、室温において、低外部磁界でTMRやGMRの大きい磁気抵抗効果素子を用いることで、大容量、かつ、高速な磁気ヘッド及び磁気記録装置を得ることができる。

#### 【発明の効果】

#### 【0027】

本発明によれば、 $\text{L}_{21}$ またはB2単相構造を有する $\text{Co}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、MはTi、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度 $Z$ が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ )磁性薄膜は、室温において、加熱せずに作製することができる。さらに、強磁性特性を示し、スピン分極率が大きい。

#### 【0028】

また、本発明の $\text{L}_{21}$ またはB2単相構造を有する $\text{Co}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、MはTi、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度 $Z$ が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ )磁性薄膜を用いた巨大磁気抵抗効果素子によれば、室温において、低外部磁界で非常に大きなGMRを得ることができる。また、トンネル磁気抵抗効果素子によっても、同様に、非常に大きなTMRを得ることができる。

#### 【0029】

さらに、本発明の $\text{L}_{21}$ またはB2単相構造を有する $\text{Co}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、MはTi、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度 $Z$ が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ )磁性薄膜を用いた各種の磁気抵抗効果素子を、超ギガビット大容量と高速の磁気ヘッドや不揮発性で高速動作するMRAMをはじめ種々の磁気装置へ応用することにより、新規な磁気装置が実現できる。この場合、飽和磁化が小さいためスピン注入による磁化反転磁場が小さくなり、低消費電力で磁化反転を実現できるほか、半導体への効率的なスピン注入が可能になり、スピンFETが開発される可能性があるなど、広くスピンエレクトロニクス分野を拓くキー材料として利用することができる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0030】

以下、図面に示した実施形態に基づいて本発明を詳細に説明する。各図において同一又は対応する部材には同一符号を用いる。

始めに本発明の磁性薄膜の第1の実施形態を示す。

図1は、本発明に係る第1の実施形態による磁性薄膜の断面図である。図1に示すように、本発明の磁性薄膜1は、基板2上に、室温において $\text{Co}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Al}_x$ 薄膜3を配設している。 $\text{Co}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Al}_x$ 薄膜3において、MはTi、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度 $Z$ が $5.5 \leq Z$

$\leq 7.5$  であり、かつ  $0 \leq x \leq 0.7$  である。ただし、上記 M の元素の価電子濃度  $Z$  は、上記元素の  $Ti$ ,  $V$ ,  $Mo$ ,  $W$ ,  $Cr$ ,  $Mn$ ,  $Fe$  のそれぞれにおいて、 $Z_{Ti} = 4$ ,  $Z_V = 5$ ,  $Z_{Cr} = Z_{Mo} = Z_W = 6$ ,  $Z_{Mn} = 7$ ,  $Z_{Fe} = 8$  と定義する。

M が  $Cr$ ,  $Mo$ ,  $W$  の場合には、平均価電子濃度  $Z$  が 6 であり、上記の  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  を満足する。

また、M が 2 種からなる場合の平均価電子濃度  $Z$  について説明する。その組成が、 $M = M_{1a}M_{21-a}$  とする。ここで、 $M_1$ ,  $M_2$  は、上記の金属 M から選ばれる金属であり、その組成としては、 $M_1$  が  $a$  であり、 $M_2$  が  $1-a$  である。そして、 $M_1$ ,  $M_2$  の価電子濃度  $Z$  をそれぞれ、 $Z_{M1}$ ,  $Z_{M2}$  とする。この  $M_{1a}M_{21-a}$  の平均価電子濃度  $Z$  は、 $Z = a \times Z_{M1} + (1-a) \times Z_{M2}$  で計算でき、この  $Z$  を  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  となるように、M の組成を決めればよい。

さらに、M が 2 種以上からなる場合にも、その組成と価電子濃度  $Z$  から、同様にして平均価電子濃度  $Z$  を、 $5.5 \leq Z \leq 7.5$  を満足するように M の選定をすればよい。 $Co_2MGa_{1-x}Al_x$  薄膜 3 は、室温で強磁性であり、電気抵抗率が  $200 \mu\Omega \cdot cm$  程度であり、かつ基板を加熱することなく  $L_{21}$  または  $B_2$  単相構造を有している。ここで、基板 2 上の  $Co_2MGa_{1-x}Al_x$  薄膜 3 の膜厚は  $1 nm$  以上  $1 \mu m$  以下であればよい。

#### 【0031】

図 2 は、本発明に係る第 1 の実施形態による磁性薄膜の変形例の断面図である。図 2 に示すように、本発明の磁性薄膜 5 は、図 1 の磁性薄膜 1 の構造において、さらに、基板 2 と  $Co_2MGa_{1-x}Al_x$  (ここで、M は  $Ti$ ,  $V$ ,  $Mo$ ,  $W$ ,  $Cr$ ,  $Mn$ ,  $Fe$  の中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 薄膜 3 との間にバッファ層 4 が挿入されている。バッファ層 4 を挿入することで、基板 1 上の  $Co_2MGa_{1-x}Al_x$  (ここで、 $0 \leq x \leq 1$ ) 薄膜 3 の結晶性をさらによくすることができる。

#### 【0032】

上記磁性薄膜 1, 5 に用いる基板 2 は、熱酸化  $Si$ 、ガラスなどの多結晶、 $MgO$ 、 $Al_2O_3$ 、 $GaAs$  などの単結晶を用いることができる。また、バッファ層 4 としては、 $Al$ ,  $Cu$ ,  $Cr$ ,  $Fe$ ,  $Nb$ ,  $Ni$ ,  $Ta$ ,  $NiFe$  などを用いることができる。

上記  $Co_2MGa_{1-x}Al_x$  (ここで、M は  $Ti$ ,  $V$ ,  $Mo$ ,  $W$ ,  $Cr$ ,  $Mn$ ,  $Fe$  の中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 薄膜 3 の膜厚は、 $1 nm$  以上で  $1 \mu m$  以下であればよい。この膜厚が  $1 nm$  未満では、実質的に後述する  $L_{21}$  または  $B_2$  単相構造を得るのが困難になり、そして、この膜厚が  $1 \mu m$  を超えるとスピンドバイスとしての応用が困難になり好ましくない。

#### 【0033】

次に、上記構成の第 1 の実施形態に用いる磁性薄膜の作用を説明する。

図 3 は、本発明の第 1 の実施形態の磁性薄膜に用いる  $Co_2MGa_{1-x}Al_x$  (ここで、M は  $Ti$ ,  $V$ ,  $Mo$ ,  $W$ ,  $Cr$ ,  $Mn$ ,  $Fe$  の中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) の構造を模式的に説明する図である。図に示す構造は、 $bcc$  (体心立方格子) の慣用的単位胞の 8 倍 (格子定数で 2 倍) の構造を示している。

$Co_2MGa_{1-x}Al_x$  の  $L_{21}$  構造においては、図 3 の I の位置に M (ここで、M は  $Ti$ ,  $V$ ,  $Mo$ ,  $W$ ,  $Cr$ ,  $Mn$ ,  $Fe$  の中の 1 種または 2 種以上からなる) がその平均価電子濃度  $Z$  を  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  とする組成となるように配置され、II の位置に  $Ga$  と  $Al$  とが組成比として  $Ga_{1-x}Al_x$  ( $0 \leq x \leq 0.7$ ) となるように配置され、III と IV の位置に  $Co$  が配置される。

また、 $Co_2MGa_{1-x}Al_x$  の  $B_2$  単相構造においては、図 3 の I の位置及び II の位置に、M (ここでは、 $Ti$ ,  $V$ ,  $Mo$ ,  $W$ ,  $Cr$ ,  $Mn$ ,  $Fe$  の中の 1 種または 2 種以上からなる) と  $Ga$  と  $Al$  とが不規則に配列され、III 及び IV の位置に  $Co$  が配置される。この際、M と  $Fe$  と  $Cr$  との組成比は、 $M_1Ga_{1-x}Al_x$  (ここで、 $0 \leq x \leq 0.7$ )

となるように配置される。

#### 【0034】

次に、上記構成の第1の実施形態に用いる磁性薄膜1, 5の磁氣的性質を説明する。

上記構成の $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜3は、室温で強磁性であり、かつ、基板を加熱することなくL2<sub>1</sub>またはB2单相構造の $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 薄膜が得られる。

さらに、上記構成の $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜3は、膜厚が数nm程度の非常に薄い膜においても、L2<sub>1</sub>またはB2单相構造が得られる。

ここで、 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜のB2構造は、L2<sub>1</sub>構造と類似しているが、異なるのはL2<sub>1</sub>構造では、上記MとGa(Al)原子が規則的に配置しているのに対し、B2構造は、不規則に配列していることである。これらの違いはX線回折や電子線回折で測定することができる。

#### 【0035】

上記 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 薄膜3において、Mの平均価電子濃度Zを、 $5.5 \leq M \leq 7.5$ とした理由について説明する。Zが5.5より小さいと、薄膜のキュリー温度が100℃を下回り、室温で大きなTMRが得られなくなる。一方、Zが7.5を越えると、薄膜のハーフメタル特性が消滅し、例えば、CPP構造の巨大磁気抵抗効果素子及びトンネル磁気抵抗効果素子において、大きなGMRやTMRが得られないからである。

#### 【0036】

次に、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子に係る第2の実施形態を示す。

図4は、本発明に係る第2の実施形態による磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の断面を示す図である。図4はトンネル磁気抵抗効果素子の場合を示している。この図に示すように、トンネル磁気抵抗効果素子10は、例えば、基板2上に $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜3が配設され、トンネル層となる絶縁層11、強磁性層12、反強磁性層13が順次積層された構造を有している。

#### 【0037】

ここで、反強磁性層13は、強磁性層12のスピンを固着させる、所謂、スピンバブル型の構造のために用いている。この構造においては、 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜3をフリー層、強磁性層12をピン層と呼ぶ。また、強磁性層12は、単層構造と複数の層構造のいずれでもよい。

絶縁層13には $\text{Al}_2\text{O}_3$ やAlの酸化物である $\text{AlO}_x$ を、強磁性層14にはCoFe, NiFe、あるいは、CoFeとNiFeとの複合膜などを、反強磁性層13にはIrMnなどを用いることができる。

さらに、本発明のトンネル磁気抵抗効果素子10の反強磁性層13の上には、さらに保護膜となる非磁性の電極層14を堆積させることが好ましい。

#### 【0038】

図5は、本発明に係る第2の実施形態による磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の変形例の断面を示す図である。本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子であるトンネル磁気抵抗効果素子15は、基板2上にバッファ層4と $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜3が配設さ

れ、トンネル層となる絶縁層 11 と、強磁性層 12 と、反強磁性層 13 と、保護膜となる非磁性の電極層 14 が順次積層された構造を有している。図 5 が図 4 の構造と異なるのは、図 4 の構造に、さらに、バッファ層 4 が配設された点である。他の構造は図 4 と同じである。

#### 【0039】

図 6 は、本発明に係る第 2 の実施形態による磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の変形例の断面を示す図である。本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子であるトンネル磁気抵抗効果素子 20 は、基板 2 上にバッファ層 4 と  $\text{Co}_2\text{MgAl}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、M は Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe の中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜 3 が配設され、トンネル層となる絶縁層 11 と、 $\text{Co}_2\text{MgAl}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、M は Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe の中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜 16 と、反強磁性層 13 と、保護膜となる非磁性の電極層 14 が順次積層された構造を有している。図 6 が図 5 の構造と異なるのは、図 4 のピン層となる強磁性層 12 も、本発明の磁性薄膜である  $\text{Co}_2\text{MgAl}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、M は Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe の中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜 16 を用いた点である。他の構造は図 5 と同じである。

トンネル磁気抵抗効果素子 10, 15, 20 に電圧を加える場合は、 $\text{Co}_2\text{MgAl}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、M は Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe の中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜 3 またはバッファ層 4 と電極層 14 との間に印加される。また、外部磁界は、膜面内に平行に印加される。バッファ層 4 から電極層 14 への電流の流し方は、膜面垂直方向に電流を流す CPP 構造とすることができる。

#### 【0040】

ここで、上記トンネル磁気抵抗効果素子 10, 15, 20 に用いる基板 2 は、熱酸化 Si、ガラスなどの多結晶、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{GaAs}$  などの単結晶であってよい。

また、バッファ層 4 として、Al, Cu, Cr, Fe, Nb, Ni, Ta, NiFe などを用いることができる。

上記  $\text{Co}_2\text{MgAl}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、M は Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe の中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜 3 の膜厚は 1 nm 以上で 1  $\mu\text{m}$  以下であればよい。この膜厚が 1 nm 未満では実質的に  $L_{21}$  または  $B_2$  単相構造を得るのが困難になり、そして、この膜厚が 1  $\mu\text{m}$  を超えるとトンネル磁気抵抗効果素子としての応用が困難になり好ましくない。上記構成の本発明のトンネル磁気抵抗効果素子 10, 15, 20 は、スパッタ法、蒸着法、レーザアブレーション法、MBE 法などの通常の薄膜成膜法と、所定の形状の電極などを形成するためのマスク工程などを用いて製造することができる。

#### 【0041】

つぎに、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子であるトンネル磁気抵抗効果素子 10 及び 15 の動作について説明する。

本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子 10, 15 は、二つの強磁性層 3, 12 を用い、一方には反強磁性層 13 が近接し、近接した強磁性層 12（ピン層）のスピンを固着させるスピバルブ型を用いているので、外部磁界が印加されたときには、他方のフリー層となる強磁性層  $\text{Co}_2\text{MgAl}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、M は Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe の中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜 3 のスピンのみが反転される。

したがって、スピバルブ効果により強磁性層 12 の磁化は、反強磁性層 13 との交換相互作用によってスピが 1 方向に固定されるので、フリー層である  $\text{Co}_2\text{MgAl}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、M は Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe の中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）

薄膜 3 のスピンの平行、反平行が容易に得られる。

この際、フリー層である  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、M は Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe の中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 薄膜 3 の磁化が小さいため、反磁界が小さくそれだけ小さな磁界で磁化反転を起こすことができる。

これにより、本発明のトンネル磁気抵抗効果素子 10, 15 は、MRAM など低電力での磁化反転を必要とする磁気デバイスに好適である。

#### 【0042】

次に、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子であるトンネル磁気抵抗効果素子の 20 の動作について説明する。

トンネル磁気抵抗効果素子 20 は、さらに、ピン層の強磁性層 16 もフリー層である強磁性の  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、M は Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe の中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 薄膜 3 と同じ  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、M は Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe の中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) を用いているので、上記 (1) 式の分母がより小さくなり、さらに、本発明のトンネル磁気抵抗効果素子の TMR は大きくなる。これにより、本発明のトンネル磁気抵抗効果素子 20 は、MRAM など低電力での磁化反転を必要とする磁気デバイスに好適である。

#### 【0043】

次に、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子に係る第 3 の実施形態を示す。

図 7 は、本発明に係る第 3 の実施形態による磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の断面を示す図である。本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子は、巨大磁気抵抗効果素子の場合を示している。図に示すように、巨大磁気抵抗効果素子 30 は、基板 2 上に、バッファ層 4 と強磁性体となる本発明の  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、M は Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe の中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 薄膜 3 が配設され、非磁性金属層 21 と強磁性層 22 と保護膜となる非磁性の電極層 14 とが順次積層された構造を有している。

ここで、巨大磁気抵抗効果素子のバッファ層 4 と電極層 14 との間に電圧が印加される。また、外部磁界は、膜面内に平行に印加される。バッファ層 4 から電極層 14 への電流の流し方は、膜面内に電流を流すタイプである CIP 構造と、膜面垂直方向に電流を流すタイプである CPP 構造とすることができる。

#### 【0044】

図 8 は、本発明に係る第 3 の実施形態による磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の変形例の断面を示す図である。本発明の巨大磁気抵抗効果素子 35 が、図 7 の巨大磁気抵抗効果素子 30 と異なるのは、強磁性層 22 と電極層 14 との間に反強磁性層 13 を設け、スピンバルブ型の巨大磁気抵抗効果素子とした点である。他の構造は、図 7 と同じであるので説明は省略する。

反強磁性層 13 は、近接したピン層となる強磁性層 22 のスピンを固着させる働きをする。ここで、巨大磁気抵抗効果素子 30, 35 のバッファ層 4 と電極層 14 との間に電圧が印加される。また、外部磁界は、膜面内に平行に印加される。バッファ層 4 から電極層 14 への電流の流し方は、膜面内に電流を流すタイプである CIP 構造と、膜面垂直方向に電流を流すタイプである CPP 構造とすることができる。

#### 【0045】

上記巨大磁気抵抗効果素子 30, 35 の基板 2 は、熱酸化 Si、ガラスなどの多結晶、さらに、 $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{GaAs}$  などの単結晶を用いることができる。また、バッファ層 4 として、Al, Cu, Cr, Fe, Nb, Ni, Ta, NiFe などを用いることができる。非磁性金属層 21 としては、Cu, Al などを用いることができる。また、強磁性層 22 としては  $\text{CoFe}$ ,  $\text{NiFe}$ ,  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、M は T

i, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe 中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ 。薄膜などの何れか一つか、またはこれらの材料からなる複合膜を用いることができる。そして、反強磁性層 13 には IrMn などを用いることができる。

上記  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、M は Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe 中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 薄膜 3 の膜厚は、1 nm 以上で 1  $\mu\text{m}$  以下であればよい。この膜厚が 1 nm 未満では実質的に  $\text{L}2_1$  または  $\text{B}2$  単相構造を得るのが困難になり、そして、この膜厚が 1  $\mu\text{m}$  を超えると巨大磁気抵抗効果素子としての応用が困難になり好ましくない。

上記構成の本発明の巨大磁気抵抗効果素子 30, 35 は、スパッタ法、蒸着法、レーザーアブレーション法、MBE 法などの通常の薄膜成膜法と、所定の形状の電極などを形成するためのマスク工程などを用いて製造することができる。

#### 【0046】

本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子である巨大磁気抵抗効果素子 30 の強磁性層である  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、M は Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe 中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 薄膜 3 が、ハーフメタルであることからスピンの分極率が大きい。このため、外部磁界が印加されたときに伝導に寄与するのは、この薄膜 3 の一方のスピンのみである。したがって、巨大磁気抵抗効果素子 30 によれば、非常に大きな磁気抵抗、即ち、GMR が得られる。

#### 【0047】

次に、磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子であるスピンバルブ型の巨大磁気抵抗効果素子 35 の場合には、ピン層である強磁性層 22 のスピンは反強磁性層 13 により固定されており、外部磁界を印加することによって、フリー層である  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、M は Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe 中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 薄膜 3 のスピンの外部磁界により平行と反平行の状態になる。そして、伝導に寄与するのはハーフメタルである  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、M は Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe 中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 薄膜 3 の一方のスピンだけであるので、非常に大きな GMR が得られる。

#### 【0048】

次に、本発明の磁性薄膜による磁気抵抗効果素子を用いた磁気装置に係る第 4 の実施形態を示す。

図 1 ～ 図 8 に示すように、本発明の磁性薄膜を用いた各種の磁気抵抗効果素子は、室温において、低磁界で TMR、または、GMR が非常に大きくなる。

図 9 は、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子であるトンネル磁気抵抗効果素子や巨大磁気抵抗効果素子に外部磁界を印加したときの抵抗を模式的に説明する図である。図の横軸は、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子に印加される外部磁界で、縦軸が抵抗である。ここで、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子は、巨大磁気抵抗効果やトンネル磁気抵抗効果を得るための必要な電圧が、十分に印加されている。

#### 【0049】

図示するように、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の抵抗は、外部磁界により大きな変化を示す。外部磁界を領域 (I) より印加し、外部磁界を減少させ、零として、さらに外部磁界を反転して増大させると、領域 (II) から領域 (III) において最小の抵抗から最大の抵抗に変化する。ここで、領域 (II) の外部磁界を  $H_1$  とする。

#### 【0050】

さらに、外部磁界を増加させると、領域 (III) から領域 (IV) を経て領域 (V) までの抵抗変化が得られる。これにより、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子は、領域

(I) と、領域 (V) の外部磁界において、強磁性層 22 とフリー層である  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 薄膜3とのスピンの状態となり、最小の抵抗となる。そして、領域 (III) では上記スピンの状態となり、最大の抵抗となる。ここで、 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜3は、例えば $\text{Co}_2\text{FeCrGa}$ を用いることができる。

#### 【0051】

ここで、磁気抵抗変化率は、外部磁界を印加したとき、下記 (2) 式で表され、この値が大きいほど磁気抵抗変化率としては望ましい。

磁気抵抗変化率 = (最大の抵抗 - 最小の抵抗) / 最小の抵抗 (%) (2)

これにより、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子は、図9に示すように、磁界が零から  $H_1$  より極く僅かに大きい磁界、即ち低い磁界を加えることで、大きな磁気抵抗変化率が得られる。

#### 【0052】

図9で説明したように、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子は、室温において、低磁界で大きなTMRまたはGMRを示すので、磁気抵抗センサとして用いれば、感度の高い磁気素子を得ることができる。

また、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子は、室温において、低磁界で大きなTMRまたはGMRを示すので、感度の高い読み出し用の磁気ヘッド及びこれらの磁気ヘッドを用いた各種の磁気記録装置を構成することができる。

また、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子である、例えば、MTJ素子をマトリックス状に配置し、別に設けた配線に電流を流して外部磁界を印加する。このMTJ素子を構成するフリー層の強磁性体の磁化を、外部磁界により互いに平行と反平行に制御することにより、“1”、“0”を記録させる。

さらに、読み出しはTMR効果を利用して行うことなどにより、MRAMなどの磁気装置を構成することができる。

また、本発明の磁気抵抗効果素子であるCPP構造のGMR素子においては、GMRが大きいので、ハードディスク駆動装置(HDD)やMRAMなどの磁気装置の大容量化ができる。

#### 【実施例1】

#### 【0053】

以下、本発明の実施例について説明する。

本発明の磁性薄膜である $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ として、MをCrとして組成xを0とした $\text{Co}_2\text{CrGa}$ を製作した。この場合、Mの平均価電子濃度Zは、6である。

最初に、本発明の磁性薄膜の材料となる $\text{Co}_2\text{CrGa}$ 合金の製作について説明する。高純度のCoとCrとGaをそれぞれ25%、25%、50%の組成比で、アーク溶解装置に投入し、1100℃で24時間の溶解を行い、氷水焼入れをして $\text{Co}_2\text{CrGa}$ 合金を製作した。

#### 【0054】

図10は、実施例1で製作した $\text{Co}_2\text{CrGa}$ 合金の[01-1]入射の電子線回折を示す図である。電子ビームの加速電圧は200kVであり、図中の数字は、それぞれ、(200)、(111)、(022)面などからの回折を示している。

図から明らかなように、(200)、(111)面からの両規則反射が共に出現し、本合金が $L2_1$ のホイスラー構造であることが分かった。

なお、本合金が不規則体心立方晶であれば、図中に示す(200)、(111)面からの回折は2種類とも出現しない。また、B2構造であれば(200)面からの回折のみが出現し、(111)面からの回折は存在しない。

上記 $\text{Co}_2\text{CrGa}$ 合金をターゲットとして用いた高周波スパッタ装置により、熱酸化Si基板2またはSi基板2にバッファ層4としてTa薄膜を積層した基板2上に、 $\text{Co}_2\text{CrGa}$ 薄膜を基板温度を変えて作製した。基板温度が500℃以下で、このようにし

て製作した  $\text{Co}_2\text{CrGa}$  磁性薄膜 3 の構造は  $\text{L}2_1$  または  $\text{B}2$  構造であった。

【実施例 2】

【0055】

図 5 に示すスピンバルブ型のトンネル磁気抵抗効果素子 15 を室温で作製した。熱酸化  $\text{Si}$  基板 2 上に、マグネトロンスパッタ装置とメタルマスクを用いて、 $\text{Ta}$  をバッファ層 4 として、 $\text{Ta}$  (10 nm) /  $\text{Co}_2\text{CrGa}$  (300 nm) /  $\text{AlO}_x$  (1.6 nm) /  $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$  (5 nm) /  $\text{NiFe}$  (2 nm) /  $\text{IrMn}$  (20 nm) /  $\text{Ta}$  (10 nm) を順に積層して、トンネル磁気抵抗効果素子 15 を製作した。括弧内の数字はそれぞれの膜厚である。

$\text{Ta}$  はバッファ層 4、 $\text{Co}_2\text{CrGa}$  薄膜 3 は強磁性のフリー層、 $\text{AlO}_x$  はトンネル絶縁層 11、 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$  及び  $\text{NiFe}$  は強磁性層 12 のピン層で複合膜からなる強磁性体、 $\text{IrMn}$  は反強磁性層 13 であり、 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$  /  $\text{NiFe}$  の強磁性層 12 のスピンを固定する役割をしている。そして、反強磁性層 13 である  $\text{IrMn}$  上の  $\text{Ta}$  は、保護膜 14 である。

ここで、上記のトンネル絶縁膜である  $\text{AlO}_x$  以外の各層成膜時におけるマグネトロンの高周波電力は 100 W であり、 $\text{AlO}_x$  のプラズマ酸化による成膜時の高周波電力は 40 W であった。そして、放電用  $\text{Ar}$  ガス圧力は 1.8 Pa であった。また、基板温度は、400 °C であり、この場合の  $\text{Co}_2\text{CrGa}$  薄膜 3 は、 $\text{L}2_1$  構造であった。なお、成膜時に 100 Oe の磁界を印加して膜面内に一軸異方性を導入した。

【0056】

この膜厚が 300 nm の  $\text{Co}_2\text{CrGa}$  磁性薄膜を有するトンネル磁気抵抗効果素子 15 に外部磁界を印加して、室温で磁気抵抗を測定した。

図 11 は、実施例 2 のトンネル磁気抵抗効果素子 15 の抵抗の磁場依存性を示す図である。図の横軸は外部磁界  $H$  (Oe) であり、縦軸は抵抗 ( $\Omega$ ) である。磁気抵抗は、外部磁界をスイープして、そのヒステリシス特性も測定している。これから、TMR は 2.6 % と求まった。

【実施例 3】

【0057】

$\text{Co}_2\text{CrGa}$  薄膜 3 を用い、その膜厚を 100 nm とした以外は、実施例 2 と同様のスピンバルブ型トンネル磁気抵抗効果素子 15 を作製した。このトンネル磁気抵抗効果素子 15 に外部磁界を印加して室温で磁気抵抗を測定した。

図 12 は、実施例 3 のトンネル磁気抵抗効果素子 15 の抵抗の磁場依存性を示す図である。図の横軸は外部磁界  $H$  (Oe) であり、縦軸は抵抗 ( $\Omega$ ) である。磁気抵抗は、外部磁界をスイープして、そのヒステリシス特性も測定している。これから、TMR は 3.2 % と求まった。

実施例 2 及び実施例 3 では、TMR 曲線にプラトーが見られず、スピンの完全な反平行状態が実現していない。さらに、トンネル磁気抵抗効果素子 15 の作製条件を最適化することにより、TMR を飛躍的に大きくできることが期待される。

【図面の簡単な説明】

【0058】

【図 1】 本発明に係る第 1 の実施形態による磁性薄膜の断面図である。

【図 2】 本発明に係る第 1 の実施形態による磁性薄膜の変形例の断面図である。

【図 3】 本発明に係る第 1 の実施形態による磁性薄膜に用いる  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  の構造を模式的に説明する図である。

【図 4】 本発明に係る第 2 の実施形態による磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の断面を示す図である。

【図 5】 本発明に係る第 2 の実施形態による磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の変形例の断面を示す図である。

【図 6】 本発明に係る第 2 の実施形態による磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の変形例の断面を示す図である。

【図 7】本発明に係る第 3 の実施形態による磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の断面を示す図である。

【図 8】本発明に係る第 3 の実施形態による磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の変形例の断面を示す図である。

【図 9】本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子に外部磁界を印加したときの抵抗を模式的に説明する図である。

【図 10】実施例 1 で製作した  $\text{Co}_2\text{CrGa}$  合金の  $[01-1]$  入射の電子線回折を示す図である。

【図 11】実施例 2 のトンネル磁気抵抗効果素子の抵抗の磁場依存性を示す図である。

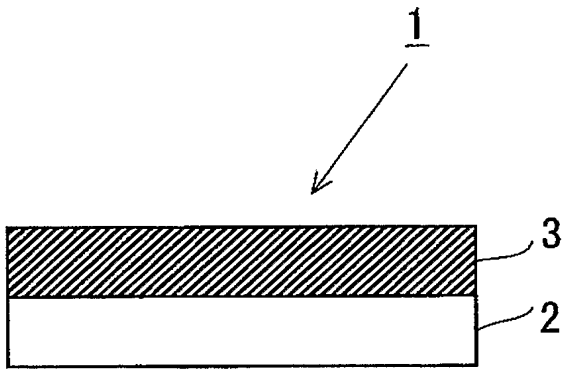
【図 12】実施例 3 のトンネル磁気抵抗効果素子の抵抗の磁場依存性を示す図である。

【符号の説明】

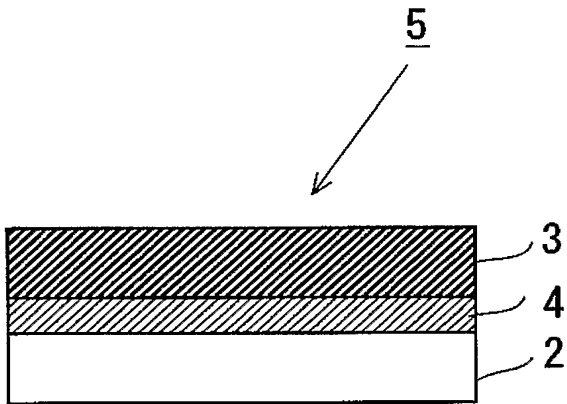
【0059】

- 1, 5 : 磁性薄膜
- 2 : 基板
- 3, 16 :  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜
- 4 : バッファー層
- 10, 15, 20 : トンネル磁気抵抗効果素子
- 11 : 絶縁層
- 12, 22 : 強磁性層
- 13 : 反強磁性層
- 14 : 電極層
- 21 : 非磁性金属層
- 30, 35 : 巨大磁気抵抗効果素子

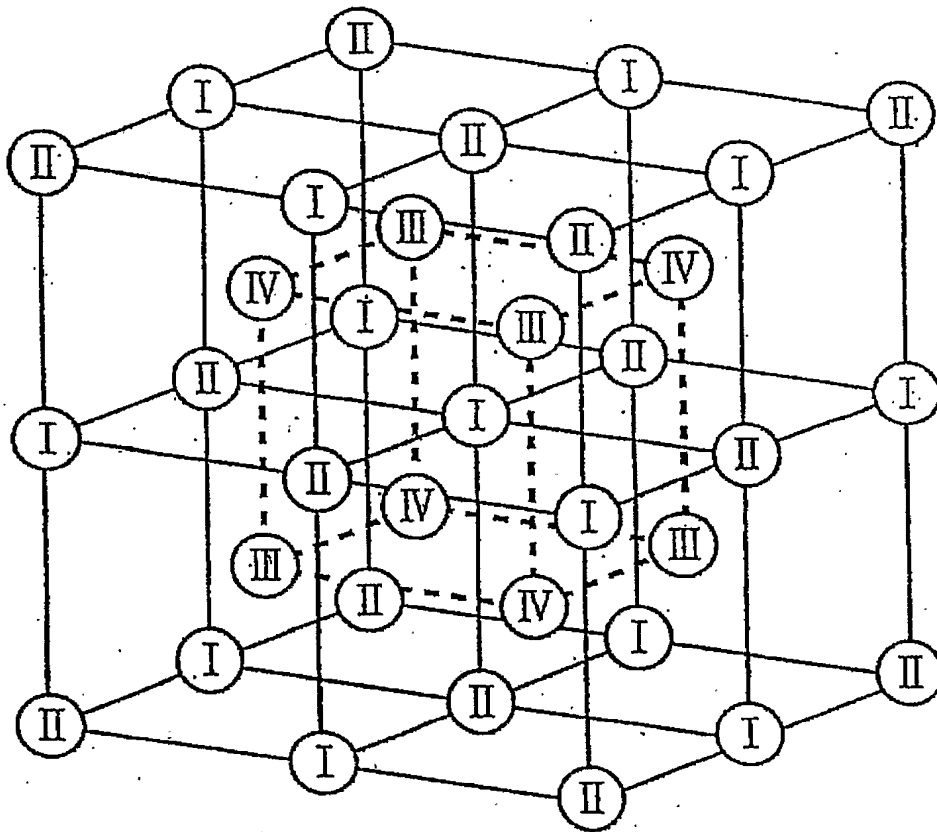
【書類名】 図面  
【図 1】



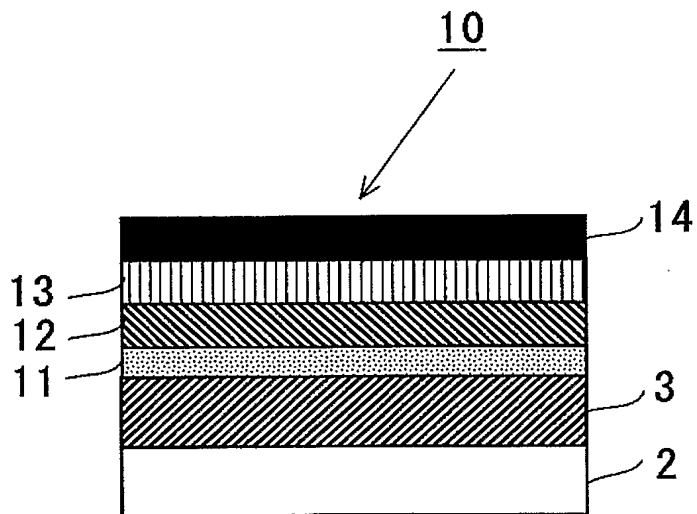
【図 2】



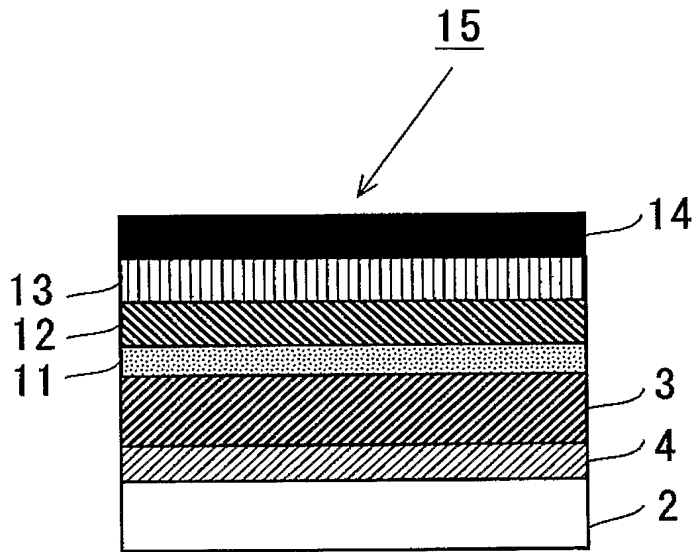
【図 3】



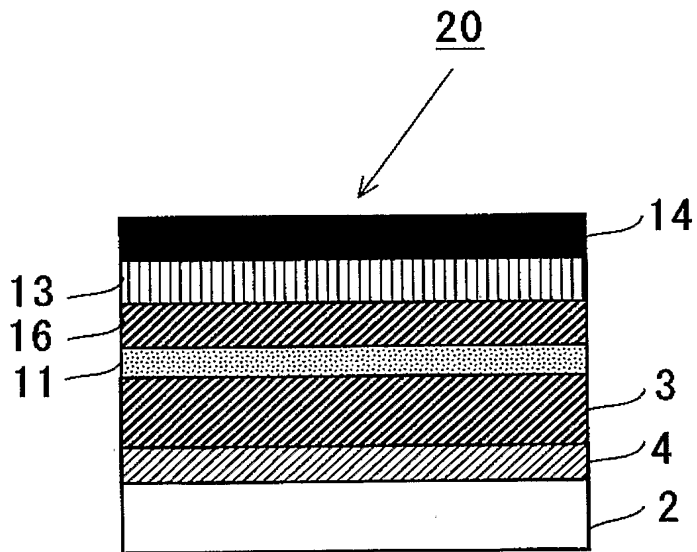
【図 4】



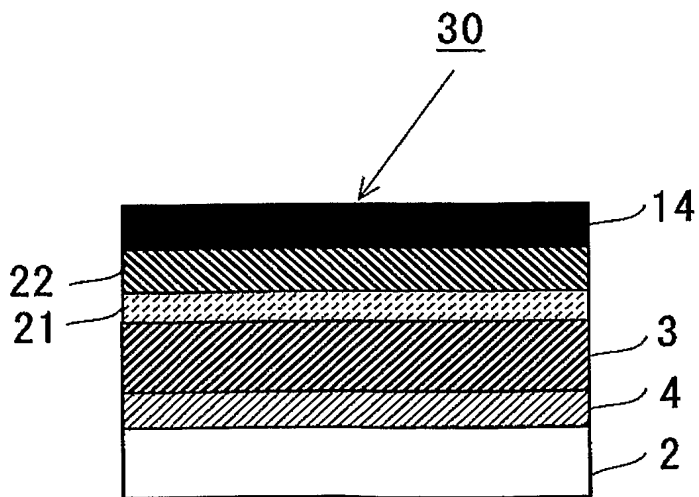
【図 5】



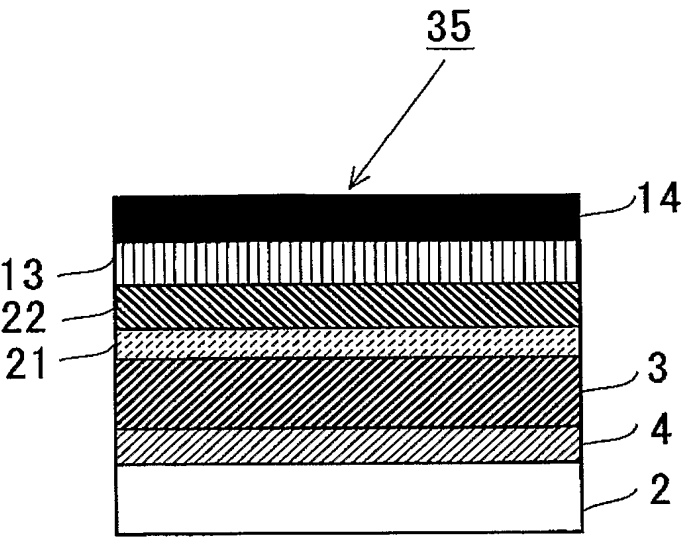
【図 6】



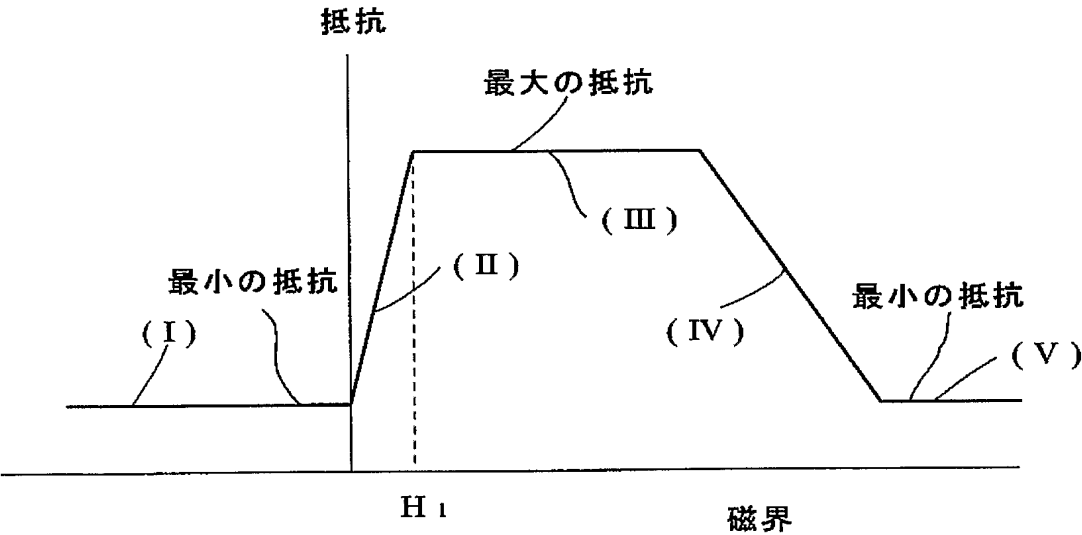
【図 7】



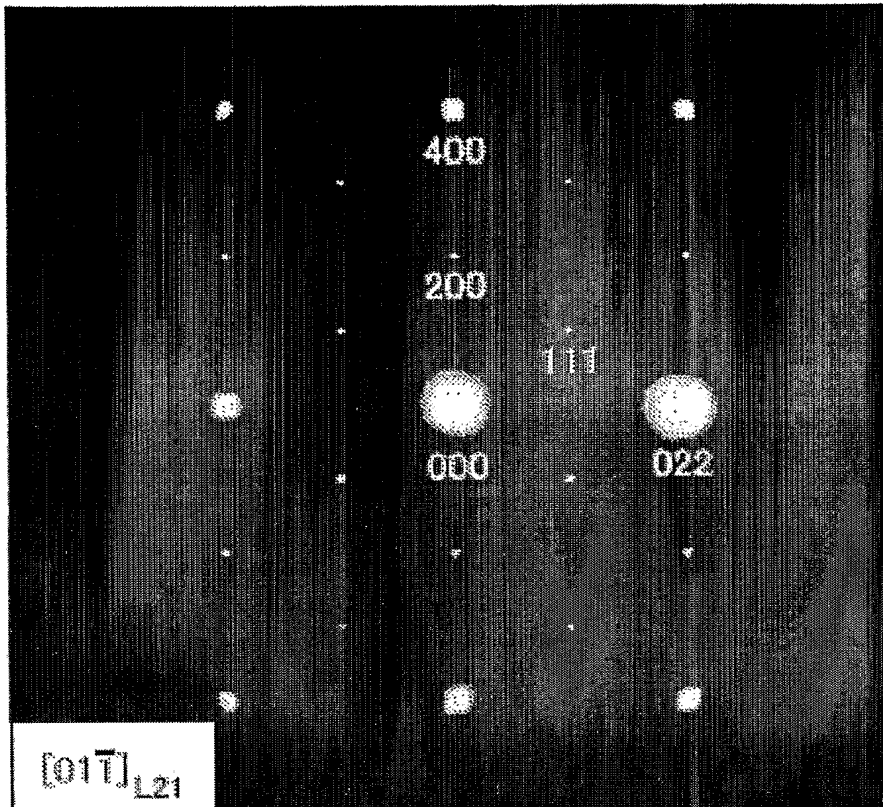
【図 8】



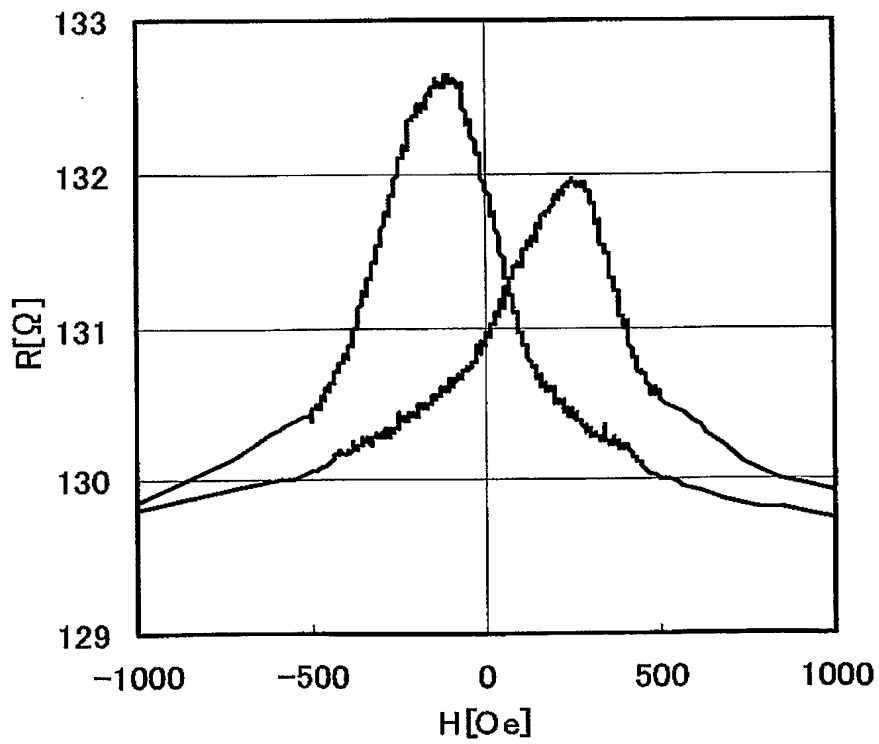
【図 9】



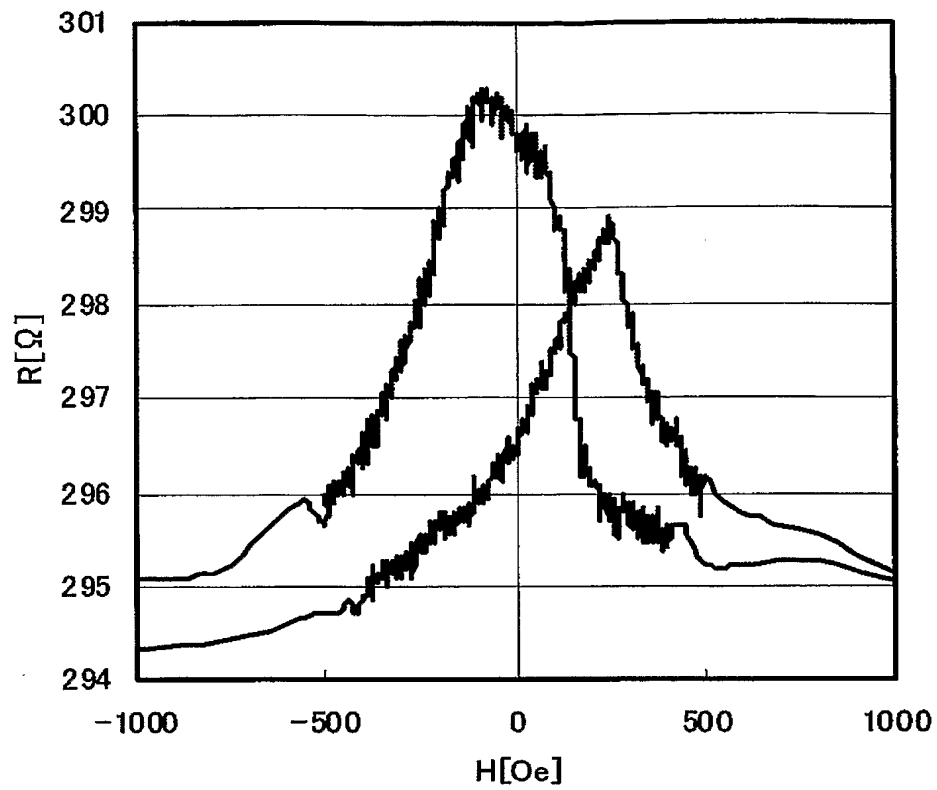
【図 10】



【図 11】



【図 12】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 スピン分極率の大きい磁性薄膜及びそれを用いた磁気抵抗効果素子並びに磁気デバイスを提供する。

【解決手段】 基板 2 と基板 2 上に形成される  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜 3 とを備え、 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜 3 は  $\text{L}2_1$  または  $\text{B}2$  単相構造を有し、薄膜の M は  $\text{Ti}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{W}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Fe}$  の中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$  である。室温において、強磁性を示し大きなスピン分極率が得られる。基板 2 と  $\text{Co}_2\text{Fe}_x\text{Cr}_{1-x}\text{Al}$  薄膜 3 との間にはバッファ層 4 が挿入されてもよい。この磁性薄膜を用いたトンネル磁気抵抗効果素子及び巨大磁気抵抗効果素子は、室温において、低磁界で大きな TMR と GMR が得られる。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 4 - 0 3 7 5 1 4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 5 0 3 3 6 0 1 1 5 ]

- |          |                       |
|----------|-----------------------|
| 1. 変更年月日 | 2 0 0 3 年 1 0 月 1 日   |
| [変更理由]   | 新規登録                  |
| 住 所      | 埼玉県川口市本町 4 丁目 1 番 8 号 |
| 氏 名      | 独立行政法人 科学技術振興機構       |
|          |                       |
| 2. 変更年月日 | 2 0 0 4 年 4 月 1 日     |
| [変更理由]   | 名称変更                  |
| 住 所      | 埼玉県川口市本町 4 丁目 1 番 8 号 |
| 氏 名      | 独立行政法人 科学技術振興機構       |